

ÉVOLUTION BIOLOGIQUE D'UNE EAU D'ALIMENTATION

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

LE 9 AVRIL 1943

par

GERSON (Rudi)

Né le 22 janvier 1915 à Stettin (Allemagne)

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MEDECINE

Examineurs de la Thèse	{	CRISTOL, prof., président.	{	Assesseurs
		CARRIEU, professeur.		
		CARRÈRE, agrégé.		
		MONNIER, agrégé.		

IMPRIMERIE
CAUSSE, GRAILLE ET CASTELNAU
7, rue Dom-Vaissette
MONTPELLIER

1943

ÉVOLUTION BIOLOGIQUE
D'UNE EAU D'ALIMENTATION



Digitized by the Internet Archive
in 2026

ÉVOLUTION BIOLOGIQUE D'UNE EAU D'ALIMENTATION



THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

LE 12 AVRIL 1943

par

GERSON (Rudi)

Né le 22 Janvier 1915 à Siettin (Allemagne)

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MEDECINE

Examineurs de la Thèse	{	CRISTOL, prof., président.	{	Assesseurs
		CARRIEU, professeur.		
		CARRÈRE, agrégé.		
		MONNIER, agrégé.		

IMPRIMERIE
CAUSSE, GRAILLE ET CASTELNAU
7, rue Dom-Vaissette
MONTPELLIER

1943

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Professeurs

Chaires:

Anatomie.	MM. J. DELMAS.
Histologie.	TURCHINI.
Physiologie.	HEDON.
Chimie biologique médicale et toxicologie	CRISTOL.
Physique médicale	PECH.
Anatomie pathologique et médecine expérimentale.	BAUMEL.
Microbiologie.	LISBONNE.
Pathologie et thérapeutique générales	PAGES.
Thérapeutique et matière médicale.	JANBON.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	PUECH.
Hygiène.	CARRIEU.
Médecine légale et médecine sociale	VIDAL.
Pathologie médicale et clinique propédeutique . . .	BOULET.
Clinique, médicale	L. RIMBAUD.
—	GIRAUD, <i>doyen</i> .
Clinique chirurgicale	MASSABUAU, <i>assesseur</i> .
—	N.
Clinique obstétricale	P. DELMAS.
Clinique des maladies mentales et nerveuses	EUZIERE, <i>doyen honor.</i>
Clinique des malad. des enfants et hyg. du 1 ^{re} âge.	BOUDET.
Clinique de dermato-syphiligraphie	MARGAROT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie. . . .	ETIENNE.
Clinique des maladies des voies urinaires	JEANBRAU.
Clinique gynécologique	LAPEYRE.
Clinique ophtalmologique.	DEJEAN.
Clinique d'oto-rhino-lar. et chir. maxillo-faciale.	TERRACOL.
<i>Charges de cours:</i>	
Anatomie.	LAUX.
Histologie.	GRANEL.
Radiologie.	LAMARQUE.
Propédeutique chirurgicale	AIMES.

Professeurs honoraires

MM. TEDENAT, BERTIN-SANS, CABANNES
GALAVIELLE, VIRES, BOSCH, VILLARD, GRYNFELTT, RICHE.

Chargés d'enseignements complémentaires

MM.	MM.
Chimie. MONNIER, <i>agrégé</i> .	Clinique de la tu-
Microbiologie. CARRERE, <i>agrégé</i> .	berculose. VIDAL, <i>professeur</i>
Histoire nat. méd. HARANT, <i>agrégé</i> .	Pathologie chirurg. MOURGUE-
Pharmacologie. HARANT, <i>agrégé</i> .	MOLINES, <i>agr.</i>
Pathologie médic. BOUCOMONT, <i>agr.</i>	— — — TRUC, <i>agrégé</i> .
— — — BERT, <i>agrégé</i> .	Chirurgie expér. GUIBAL, <i>agrégé</i> .
Propédeutique méd. P. RIMBAUD, <i>agr.</i>	Médecine opératoire ROUX, <i>agrégé</i> .
Clinique interne PUECH, <i>profess.</i>	Accouchements. CADERAS
Clinique des mala-	de KERLEAU, <i>agr.</i>
dies contagieuses. JANBON, <i>profess.</i>	Stomatologie. HOUPERT, <i>Dr.</i>

Agrégés en exercice

MM.	MM.
Médecine. P. RIMBAUD.	Chirurgie. MOURGUE-
— BOUCOMONT.	MOLINES.
— BERT.	— GUIBAL.
— LAFON, <i>ch. d'agr.</i>	— ROUX.
Chimie. MONNIER.	Urologie. TRUC.
Bactériologie. CARRERE.	Accouchements CADERAS
Histoire nat. méd. HARANT.	de KERLEAU.



A MON PERE ET A MA MERE

*Une preuve modeste d'amour filial
et de reconnaissance, pour l'affection
dont ils m'ont entouré et les sacrifices
qu'ils ont faits pour moi.*

A MA SŒUR

A MON BEAU-FRÈRE

A MES AMIS

A MA FEMME

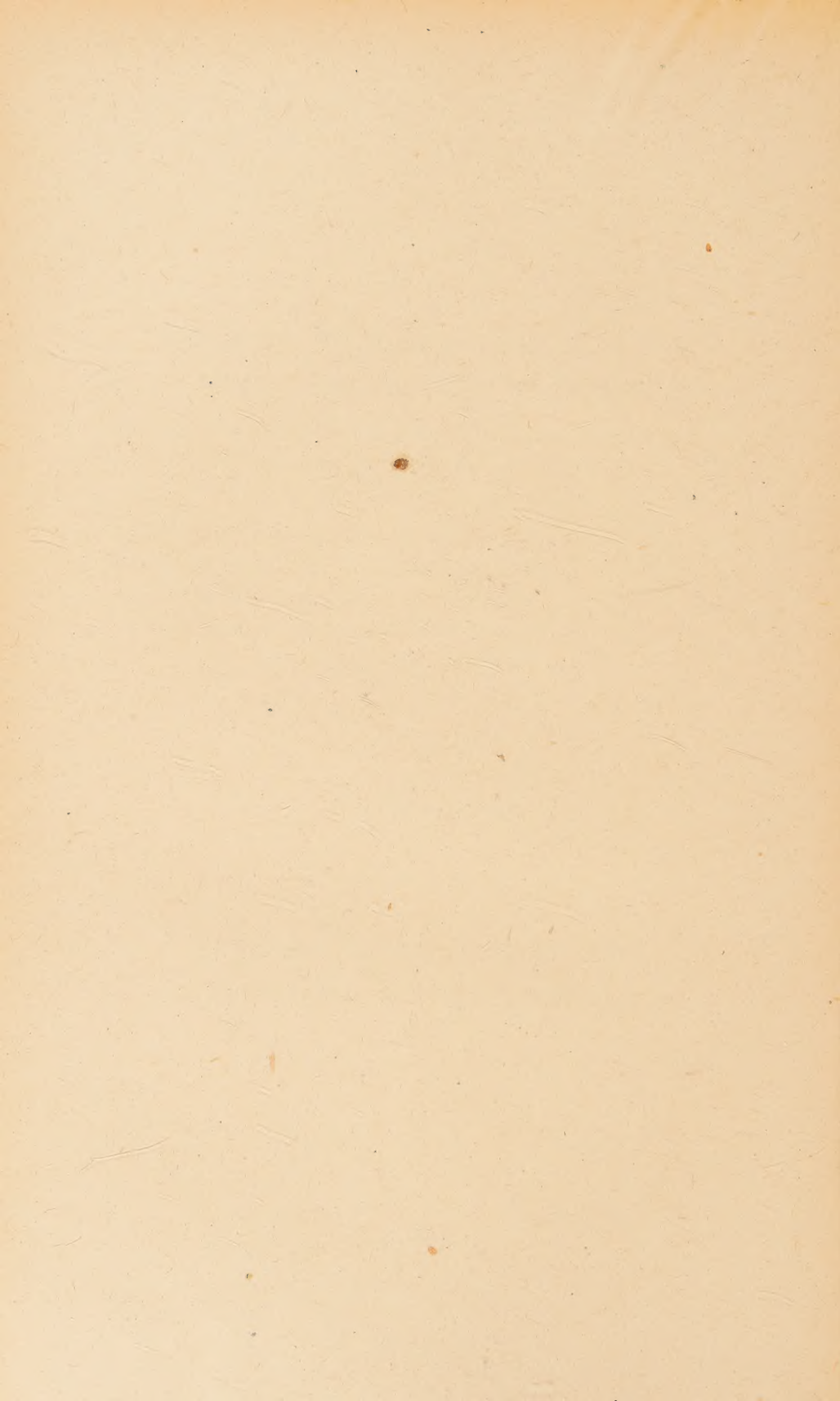
A MON MAITRE ET PRESIDENT DE THESE
MONSIEUR LE PROFESSEUR CRISTOL

PROFESSEUR DE CHIMIE BIOLOGIQUE ET MÉDICALE
A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MONTPELLIER

*Toute ma gratitude pour l'intérêt
qu'il m'a toujours témoigné, et pour
l'honneur qu'il m'a fait, me permet-
tant de travailler et de m'instruire à
ses côtés.*

A MES JUGES

A MES MAITRES DE LA FACULTE
ET DES HOPITAUX DE MONTPELLIER



EVOLUTION BIOLOGIQUE D'UNE EAU D'ALIMENTATION

INTRODUCTION

On admet généralement que la composition chimique de l'eau des puits, alimentés par des nappes acquifères souterraines, est pratiquement invariable et reste constante pour autant que les précipitations pluviales soient elles-mêmes régulièrement distribuées sur le cours de l'année.

Or, nous rapportons, dans notre travail, l'histoire et l'évolution d'une eau qui, indépendamment de toute perturbation météorique, a, au cours des quelques années, subi des modifications d'une importance telle, qu'elle est devenue impropre à l'usage alimentaire et même domestique et industriel.

Il s'agit de l'eau d'un puits artésien de nos régions, qui devait desservir le Sanatorium départemental du Grau-du-Roi. Ce puits, situé à 50 mètres du bord de la mer, a été foré au moment où débutait la construction des bâtiments du sanatorium, en 1928.

L'eau de ce puits provenait des nappes souterraines longeant le bord de la Méditerranée, dans des couches appelées « sables de Montpellier » et dont la composition chimique, maintes fois vérifiée, est d'une constance très manifeste et ne varie guère d'un endroit à l'autre.

Lors du forage du puits, les examens chimiques se sont révélés satisfaisants et l'eau a été jugé propre à l'alimentation et à tout autre usage.

Mais au moment de l'ouverture du sanatorium, c'est-à-dire quatre ans après, l'eau du puits n'était plus bonne que, tout au plus, à l'arrosage du jardin. Son degré hydrotimétrique avait fortement augmenté, ainsi que le résidu sec à 110°, et sa teneur en ions chlore. Pour les besoins du sanatorium on était réduit à faire venir l'eau de la ville et tout le bénéfice d'un puits à proximité a été par ce fait anéanti.

Mais comme la quantité d'eau fournie par la ville se révélait insuffisante, on a eu l'idée de la mélanger à l'eau de puits, dans des proportions de 50 pour 100. Grâce à ce procédé, qui est employé encore à l'heure actuelle, on dispose d'une quantité d'eau plus considérable, et on corrige l'excès du chlore de l'eau du puits par simple dissolution.

Dans notre travail, nous nous proposons d'éclaircir, si possible, le mystérieux phénomène du changement de la composition chimique de l'eau et de révéler les raisons pour lesquelles cette eau n'est pas demeurée telle qu'elle était au moment du forage du puits.

Nous tâcherons également de préciser les moyens dont on dispose pour remédier à cet état de choses.

L'échec du puits artésien dont nous nous occupons, tient à l'association de deux facteurs :

Tout d'abord, c'est par sa situation à proximité du bord de la mer que l'eau du puits artésien a dû subir une modification de sa composition chimique ; c'est ensuite par l'installation d'un système de pompage — devenu indispensable pour augmenter le débit du puits — que l'on a très probablement provoqué l'aspiration de l'eau de mer en même temps que celle de la nappe acquifère.

Notre travail comportera trois chapitres où nous tâcherons de grouper aussi nettement que possible les diverses données dont nous disposons.

Dans le premier chapitre nous relaterons l'histoire du puits et l'évolution de son eau, illustrées, pour plus de clarté, par la reproduction des analyses chimiques les plus éloquentes.

Dans le deuxième chapitre nous essayerons de donner une explication de l'évolution biologique de cette eau, en nous basant sur quelques données hydrologiques, physiques et chimiques générales.

Enfin, le troisième chapitre sera consacré aux possibilités de remédier à ce phénomène; nous y étudierons d'abord les procédés d'épuration qui permettraient l'obtention d'une eau meilleure, en nécessitant toutefois une installation coûteuse, ensuite le système actuellement en fonction, du mélange de l'eau du puits à l'eau de la ville, mélange qui donne comme résultat une eau médiocre, mais utilisable et dont le prix de revient est peu élevé.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

Nous devons toute la documentation à l'obligeance de nos Maîtres : M. le Professeur Cristol, M. le Professeur Carrieu et du Docteur Bastide, Médecin-Chef du Sanatorium départemental Hélio-Marin du Grau-du-Roi.

A. — LES PROJETS ENVISAGES

C'est au cours des années 1923-1924 que fut conçu le projet de l'édification d'un sanatorium hélio-marin départemental du Gard. La commission d'étude, chargée de trouver un emplacement approprié, se prononça en faveur d'un terrain situé sur la rive droite du chenal maritime, à environ 1500 mètres du cimetière du Grau-du-Roi. Il était donc indispensable de se préoccuper immédiatement de l'alimentation en eau potable du futur sanatorium.

Deux questions se sont posées du prime abord, à savoir :

1° Quelle est la quantité d'eau nécessaire pour subvenir journallement aux besoins du sanatorium ;

2° De quelle manière se procurer cette eau.

1° QUANTITÉ D'EAU NÉCESSAIRE

Comme il a été décidé que le sanatorium devait pouvoir recevoir environ 120 malades, ce qui, avec le per-

sonnel attaché à l'établissement, donnera une population de 150 personnes environ, on avait donc besoin d'un total journalier de 30 mètres cubes d'eau, en comptant 200 litres par tête et par jour, ce qui est une quantité moyenne mais suffisante. Pour n'être pas gêné ni pris au dépourvu, il était nécessaire et désirable d'augmenter quelque peu cette quantité en la portant à 40 mètres cubes.

2° COMMENT SE PROCURER CETTE EAU ?

Trois solutions pouvaient être envisagées *a priori*:

a) *Utiliser l'adduction alimentant la Station du Grau-du-Roi et établir une canalisation entre le Grau-du-Roi et le sanatorium (2500 mètres de longueur environ).*

Le Grau est tributaire, pour son alimentation en eau potable, de la commune d'Aiguesmortes, qui, elle-même, amène l'eau du Rhône par une canalisation de 25 kilomètres de long.

Si la réserve d'eau qui alimente Aiguesmortes et le Grau-du-Roi est inépuisable, la canalisation en ciment, établie depuis 1896, n'a été prévue que pour une population de 4.000 habitants, et, en 1924, c'était au minimum 6.000 habitants qui l'utilisaient en période normale, et 8 à 9.000 au moment de la saison balnéaire. Depuis 30 ans, les besoins en eau avaient très largement augmentés. La quantité d'eau arrivant d'Aiguesmortes était déjà insuffisante pour les besoins des usagers habituels, et il était impossible d'en prélever davantage. De plus, la pente entre l'usine de pompage et le Grau-du-Roi étant très faible, l'eau n'arrivait au Grau qu'avec très peu de pression, surtout du côté de la rive droite, et le sanatorium, étant tout à fait à l'ex-

trémité de la canalisation, n'aurait pu compter que sur une alimentation des plus précaires.

La solution d'alimenter le sanatorium en eau potable par les Services Publics du Grau-du-Roi n'était donc pas applicable, à moins d'envisager la réfection de la canalisation établie entre le Grau et le Rhône (32 kilomètres). Ce projet fut alors rejeté.

—b) *Création d'un puits artésien. Pratiquer in situ un forage pour atteindre la nappe aquifère profonde qui a été trouvée aux Perriers (à 1 kilomètre de l'emplacement du sanatorium, à 110 mètres de profondeur environ).*

Sur les possibilités d'atteindre cette nappe, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire textuellement les termes mêmes de la lettre du Professeur Blayac, de la Faculté des Sciences de Montpellier, qui, en 1924, a bien voulu se rendre deux fois dans cette région pour étudier cette question.

Le Professeur Blayac s'exprime dans ces termes à ce sujet: « Le terrain aquifère qui a été atteint à l'usine des Perriers, par deux forages que nous avons visités, passe certainement sous les dunes du Grau-du-Roi et sans discontinuité.

Autant que j'en peux juger d'après les relevées du sondage des Perriers, ce terrain appartient à ce que les géologues désignent sous le nom de « sables de Montpellier ».

Cette formation, qui n'a pas moins de 30 à 35 mètres d'épaisseur, affleure, entre Lunel et Montpellier, et au-delà, sur un territoire de plusieurs kilomètres de largeur, où des nombreux puits y révèlent l'existence d'une nappe aquifère continue et d'un gros volume. Plus à l'ouest, vers Montpellier, les altitudes de ce territoire atteignent 45 à 50 mètres.

Elles justifient amplement la force artésienne de l'eau du forage des Perriers et permettent d'augurer une force de jaillissement suffisante de la même nappe, si l'on pouvait l'atteindre, à l'ouest du Grau-du-Roi, à une profondeur assez voisine de 130 à 150 mètres... »

Le Professeur Blayac continue plus loin :

« Un forage sous les dunes de la plage du Grau-du-Roi a des grandes chances de rencontrer à une profondeur supérieure à celle des Perriers, la même nappe artésienne ou jaillissante. Cette profondeur ne paraît guère être inférieure à 130 mètres et ne peut être supérieure à 150.

» Quant à la qualité de l'eau que fournira cette nappe profonde, il est vraisemblable que cette eau sera à peu près identique à celle du puits artésien des Perriers ».

c) *Recherche de l'eau potable à l'intérieur des terres aux environs des différentes exploitations agricoles qui sont situées au nord de l'emplacement du sanatorium (Domaine de Chaumont).*

Pour étudier cette question, de nombreuses analyses chimiques et bactériologiques furent pratiquées à cinq puits différents, situés dans un périmètre d'environ 2 kilomètres de l'emplacement du sanatorium.

Si l'on compare les chiffres de ces diverses analyses on voit qu'au point de vue hydrotimétrique (c'est-à-dire la richesse d'une eau en sels calcaires et magnésiens) les eaux qui se rapprochent le plus d'une eau de qualité moyenne sont celles fournies par les puits de la cave du Grand Chaumont et du moteur du Petit Chaumont.

Au point de vue de l'oxygène consommé au permanganate, ce qui détermine la teneur d'une eau en matiè-

res organiques, nous avons vu que ce sont les eaux fournies par ces mêmes puits qui sont les plus satisfaisantes: elles ne consomment que 0 milligramme 8 d'oxygène au permanganate par litre, alors qu'une eau potable de qualité moyenne en emprunte dans les mêmes conditions de 1 à 2 milligrammes.

Reste la question des chlorures: en un endroit quelconque, la présence des chlorures abondants, liés à une teneur élevée en matières organiques, fait suspecter une eau et présumer une contamination d'origine fécale. Dans le cas présent, il n'en était rien, et la teneur assez élevée en chlorures des eaux du puits examiné qui ne correspond d'ailleurs pas à une quantité élevée de matières organiques, provient du voisinage de la mer ou mieux des marais saumâtres.

Dans ces conditions, le taux des chlorures contenus dans ces eaux, avec la possibilité de l'utiliser pour l'alimentation humaine, est beaucoup plus élevé que normalement; le point essentiel est donc que ces eaux n'aient aucune saveur saumâtre. Or, nous avons vu que la teneur en chlorures de sodium de toutes les eaux étudiées est inférieure à 260 milligrammes par litre, et les membres de la commission qui l'ont goûtée, n'ont constaté aucune saveur saumâtre à cette eau.

Donc, c'était dans la recherche d'une eau de qualité comparable à cette dernière (Domaine du Petit Chaumont) qu'il était judicieux d'orienter les recherches.

En face de ces deux possibilités, à savoir le forage d'un puits artésien ou la création d'une galerie amenant l'eau du Domaine du Chaumont à l'emplacement du sanatorium, le Professeur Blayac s'est prononcé de la façon suivante:

1° Au point de vue du choix de l'eau, il faut s'arrêter à l'eau fournie par le puits du moteur du domaine de Chaumont, dont le débit est important;

2° Puisque on peut trouver de l'eau à une distance d'environ 2 kilomètres au nord du sanatorium, il est imprudent, à cause des incertitudes des résultats, d'abandonner l'idée de creuser à l'endroit même du sanatorium un puits artésien;

3° Il est à présumer que l'eau d'un tel puits sera comparable comme qualité à celle fournie par les puits des exploitations agricoles environnantes;

4° L'eau qui sera de qualité moyenne au point de vue chimique, si elle est semblable à celle fournie par les autres puits, sera excellente au point de vue bactériologique si le captage est établi en tenant compte des desirata de l'hygiène.

B. — EXECUTION DU PROJET: CREATION DU Puits ARTESIEEN

Après de longues hésitations, c'est la deuxième solution qui fut adoptée, pour des raisons d'ordre financier et technique, et, en 1927, on commença les travaux du forage d'un puits artésien, tout près de l'emplacement du sanatorium, à une distance de 50 mètres du bord de la mer.

La sonde rencontra successivement les couches suivantes:

- de 0 à 11 m..... sable marin
- de 11 à 28 m..... marne avec galets ronds
- de 28 à 30 m..... marne grise pure
- de 30 à 44 m..... sable jaune et galets
- (de 35 à 37 m. un banc de galets agglomérés)

de 44 à 87 m..... marne bleu
de 87 à 93 m..... sable aquifère.

La première analyse de l'eau fut pratiquée le 18 décembre 1928.

Du point de vue bactériologique, cette eau était d'une pureté absolue, ne contenant ni moisissures, ni colibacilles.

Du point de vue chimique, il faut retenir un chiffre d'hydrotimétrie permanente de 63, un résidu sec à 110° de 1501 et, après calcination, de 1311, donc avec perte au rouge de 190. En ce qui concerne les chlorures, on était en présence d'une quantité de 1050 milligrammes de chlore, exprimé en Na Cl, par litre.

Deux mois plus tard, au mois de février 1929, une nouvelle analyse fut pratiquée qui, du point de vue bactériologique, était identique à la première et, du point de vue chimique, présenta un abaissement du taux des chlorures de sodium et du résidu sec à 110° et après calcination.

L'interprétation de ces résultats (voir le tableau à la fin du chapitre), donnée par M. le professeur Tarbouchiech, était la suivante :

« Eau suffisamment pure au point de vue organique, mais fortement chargée en chlorure de sodium ».

Des analyses successives furent pratiquées et nous en rapportons les résultats dans le tableau ci-dessous.

Quant à leur interprétation, voici les conclusions des experts chimistes et hygiénistes :

12 mars 1929. — Résultats analytiques identiques à ceux du 5 février 1929, mais le groupement des éléments constituants doit être présenté tout autrement que l'on ne l'avait fait. Il est hors de doute qu'une forte proportion du chlore de cette eau s'y trouve à

l'état de chlorure de calcium, diminuant d'autant la proportion de chlorure de sodium, le taux du chlore restant constant.

10 avril 1929. — Mêmes conclusions.

13 juillet 1929. — De l'uniformité des résultats analytiques et de l'examen des chiffres obtenus, il résulte que l'on se trouve en présence d'une eau très pure au point de vue de ses constituants d'origine organique, comme le montre l'index d'oxygène permanganique, la teneur en azote ammoniacal et en azote amidé, l'absence complète de nitrates et de nitrites.

Au point de vue minéral, le titre hydrotimétrique de cette eau est fortement élevé; il est en relation avec l'importance des matières fixes dissoutes, qui atteignent le taux moyen de 1300 milligrammes par litre. Cette richesse en éléments minéraux semblerait en faire une eau inacceptable pour la consommation et les usages domestiques. Mais il faut remarquer que les sels minéraux qui constituent le résidu sec, sont représentés pour plus de deux tiers par des chlorures alcalins ou alcalino-terreux, que la situation même du forage montre comme étant dus au passage de l'eau à travers des terrains salés, sans aucune relation avec des éléments d'origine animale et qu'ils ne trahissent aucune souillure de source superficielle. Il convient aussi de remarquer quelle faible proportion représentent dans la minéralisation totale les sulfates qui, souvent, chargent si lourdement des eaux cependant utilisées pour l'alimentation.

En résumé, au point de vue chimique, cette eau ne pourrait avoir contre elle que sa teneur en chlorures; il appartient aux hygiénistes de dire si, compte tenu de leur origine et de leur variété (chlorures de potassium,

de sodium et de calcium), ces sels doivent ou non faire exclure cette eau de la consommation.

Du point de vue hygiénique, c'est M. le Professeur Bertin-Sans qui fut alors appelé pour donner son avis, que nous nous permettons de publier textuellement :

« Sans doute, il résulte des renseignements qui nous ont été donnés que cette eau, qui est actuellement consommée par les ouvriers occupés à la construction du sanatorium, n'a pas de goût désagréable et qu'elle cuit mieux les légumes qu'on ne pourrait le supposer, d'après la valeur de son degré hydrotimétrique. Sans doute, la dose élevée de chlorures contenus dans cette eau doit être attribuée aux terrains salés dans lesquels se trouve située la nappe qui la fournit, et ne peut, cela résulte nettement des autres indications données par l'analyse (absence à peu près complète de nitrates etc.), être considérée comme un indice de souillure animale. Sans doute, depuis bon nombre d'années déjà, on utilise pour l'alimentation (et ce sans inconvénient notable, semble-t-il), dans diverses localités de la France et dans les Flandres, des eaux dont la teneur en chlorures est aussi élevée et parfois même plus élevée que celle du puits artésien du Grau-du-Roi. Il n'en est pas moins certain que par sa minéralisation excessive, l'eau du puits en question ne peut être classée dans la catégorie des eaux potables ordinaires; sa teneur en chlorures de calcium la rapproche plutôt du groupe des eaux minérales. Si une telle eau peut néanmoins, en égard surtout à sa pureté bactériologique, être admise pour l'alimentation, elle ne devrait l'être que lorsqu'il est pratiquement impossible de s'en procurer de meilleure. On a, il est vrai, fait observer que le taux exagéré des chlorures et des carbonates pour-

rait être, *a priori*, regardé comme en général favorable à des malades justiciables d'un sanatorium marin. Mais ces malades devant être placés dans les meilleures conditions hygiéniques possibles, ne vaut-il pas mieux leur fournir comme boisson habituelle de l'eau de bonne qualité et leur faire ingérer, d'une autre façon, quand il y a lieu, le calcium qui peut leur être utile?

Nous estimons donc que l'on peut en toute rigueur déclarer non potable l'eau du puits artésien du Grau-du-Roi... »

Analyse chimique du 2 octobre 1931. — Les résultats de cette analyse montrent une minéralisation plus considérable que celle constatée par les précédentes analyses, notamment en ce qui concerne les chlorures. Au moment de l'analyse, cette eau ne dégage aucune odeur désagréable.

Les analyses pratiquées ultérieurement, surtout en 1933, montrent une augmentation toujours plus considérable des substances minérales et des chlorures. Ce n'est malheureusement qu'à partir de cette date que furent effectués, pour la première fois, des dosages de sodium. Or, ce n'est que grâce à ces dosages que l'on peut se rendre compte qu'une partie seulement du chlore est liée au sodium, l'autre partie doit, sans aucun doute, s'y trouver sous forme de chlorure de calcium.

Cette augmentation progressive, dont nous tâcherons d'expliquer les causes dans le chapitre suivant, a fait abandonner le projet d'employer cette eau pour les besoins alimentaires du sanatorium, à moins de la soumettre à un procédé d'épuration.

Pour terminer l'histoire du puits artésien du Grau-du-Roi, hâtons-nous d'ajouter que cette eau n'a été

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

DATE	18-12 1928	5-2 1929	12-3 1929	10-4 1929	4-5 1929	13-7 1929	12-2 1931	2-10 1931	20-7 1933	12-8 1933	15-9 1933	6-10 1933	15-11 1933	21-12 1933	22-3 1943
Degré hydrométrique total	60	68	68	68	66	66	84	74	80	84	88	76	108	110	96
permanent	63	50	56	49	49	49	60	53	60	58	62	62	72	72	64
Résidu sec à 110°	1501	1288	1268	1310	1300	1290	1354	1438	1736	1736	1800	1788	1770	1758	2189
Titre alcalimétrique en SO4 H2	220	220	220	220	220	220	220	230	230	220	230	230	210	220	230
Matières organiques en oxygène	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.5	0.8	0.8	0.6	0.5	0.5	0.3	0.6	1.8	0.4
N ammoniacal	0.10	0.075	0.075	0.06	0.075	0.075	0.075	0.05	0.05	1	0.1	0.1	0.04	0.10	0.10
N nitrique	0	0	traces	traces	0	0	0	0	0	traces	0	0	0	0	0
N nitreux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	traces	0	0
Calcium en Ca O		312	310	316	310		334				432	422	426	460	534
Magnésium en Mg O		60	55	59	60		70				40	82.8	94.5	81	89.1
Silicate d'Al et oxyde de Fer	9	7	10	8	10	10	22	14	24	28	16	30	52	6	22
Acide sulfurique en SO3	48	35	31	37	37	31	38	38	59	54	67	57	64	107	68
Chlore en Cl	636	515	509	503	512	512	580	629	745	751	757	763.5	757	776.7	936
Sodium en Na										192	197	195	189	195.6	190
Chlore en NaCl	1050	854	832	826	840	840	952	1040	1230	1240	1250	1260	1250	1280	1450
Chlore non lié à Na										455	453	462	466	480	693

utilisée telle qu'elle que pendant une période très restreinte. En effet, les analyses donnant des résultats de plus en plus défavorables, six mois après l'ouverture du sanatorium, après avoir examiné des différents modes d'épuration, on s'est borné à utiliser l'eau de la ville. Le débit de celle-ci étant insuffisant, pour des raisons que nous avons invoquées plus haut, on a eu recours à un système, selon lequel on mélange à parties égales l'eau de la ville du Grau-du-Roi à celle du puits artésien, ce qui donne une eau médiocre, mais dont l'utilisation peut cependant être considérée comme acceptable.

Depuis cette date, l'eau du puits paraît évoluer toujours dans le même sens. En effet, une dernière analyse, pratiquée au mois de mars 1943, montre un taux de chlore, exprimé en chlorure de sodium, de 1450 milligrammes par litre, de chlore non lié au sodium^e de 643 milligrammes par litre, un taux de calcium en CaO de 534 milligrammes par litre et un résidu sec à 110° de 2189 milligrammes par litre, chiffres assez éloquents par eux-mêmes pour se passer de tout commentaire.

CHAPITRE II

Essai d'interprétation des modifications chimiques progressives subies par l'eau du puits artésien

L'eau dont les modifications chimiques font l'objet de notre travail, jaillit d'une nappe acquifère souterraine à travers un puits artésien.

Avant d'aborder l'interprétation du phénomène qui nous préoccupe particulièrement, nous allons rapporter quelques idées générales sur les puits artésiens et les nappes acquifères souterraines, en particulier celles qui longent les côtes.

On appelle nappe captive, toute nappe recouverte par un terrain imperméable. Son alimentation ne peut se faire pratiquement que par une partie de sa surface. Les eaux y sont maintenues sous pression par le toit imperméable. Si la nappe ainsi recouverte est atteinte par une conduite naturelle, ou artificielle, les eaux peuvent s'élever dans cette conduite. Si l'orifice de celle-ci est à une côte inférieure à celle de la zone par où pénètrent les eaux dans la nappe, l'eau jaillit suivant le principe des vases communicants et la nappe est dite artésienne.

Ces nappes constituent les eaux de la zone superficielle du globe; elles peuvent avoir une origine complexe. Il est impossible d'estimer l'importance de la quantité d'eau qui monte à la surface à l'état juvénile

(eaux qui viennent de la profondeur de la terre) ou à l'état du produit de déshydratation. Il est certain que les eaux météoriques jouent un rôle capital à la surface de la terre et dans la zone superficielle de l'écorce terrestre; elles sont abondantes et se renouvellent constamment.

Le voisinage de la mer apporte souvent un trouble grave dans la qualité des eaux souterraines: celles-ci en deviennent en effet plus ou moins salées et par suite difficilement utilisables pour l'homme. Les sels proviennent de deux causes: soit de la pluie, qui près des côtes contient une certaine quantité de chlorure de sodium (le vent arrachant à la mer des particules d'eau salée) et le transmet aux nappes acquifères; soit plutôt du contact direct des nappes acquifères s'abouchant avec le talus de la fosse océanique, et des échanges qui en résultent entre les eaux douces (continentales) et les eaux salées (marines).

On peut donc rencontrer des cas bien différents. Si des nappes sous pression viennent affleurer dans le talus océanien, elles s'y déchargent en donnant naissance à des sources sous-marines. Une telle source est d'ailleurs connue au Grau-du-Roi à une distance d'environ 1.500 mètres de la côte.

Les eaux douces s'écoulent donc facilement. Mais bien des fois la nappe phréatique, comme celle des sables côtiers qui reçoivent la pluie, est sans grande pression, et c'est alors que l'évacuation des eaux douces est contrariée, et se faisant lentement, donne au sel marin le temps de s'y infiltrer. Il se forme ainsi une sorte d'équilibre mais qui peut être troublé si les cir-

constances changent, et notamment si des pompages artificiels intensifs font appel à l'eau de mer.

La mise en service d'un puits dans la nappe d'eau douce a évidemment pour résultat de faire remonter la limite supérieure de l'eau salée puisque un captage produit une dépression dans la surface de la nappe. Un pompage trop intensif peut faire apparaître l'eau salée dans des puits qui, à l'origine, donnaient de l'eau douce. Il convient donc de régler convenablement le rabattement résultant du pompage et la profondeur à laquelle le puits doit être descendu dans la nappe. Un rabattement jusqu'à la côte zéro détruit complètement la réserve d'eau douce.

De toute manière, l'eau douce doit être remplacée par l'eau salée dans un captage si ce dernier emprunte à la nappe aquifère plus d'eau que celle-ci n'en reçoit normalement.

C'est ce qui a dû certainement se produire dans l'exploitation du puits artésien du Grau-du-Roi.

En étudiant les résultats des analyses pratiquées on constate que le taux des chlorures d'une part et du résidu sec à 110° d'autre part est resté stationnaire pendant les deux premières années de l'exploitation du puits. Pendant cette période, on s'était contenté de la quantité d'eau fournie par le puits sans pompage, c'est-à-dire d'une quantité ne dépassant pas 30 mètres cubes par jour. Mais à partir du moment où le besoin en eau a augmenté et où on a mis en marche un système de pompage (novembre 1930), on a constaté une augmentation progressive du taux des substances minérales.

Malheureusement on n'a plus jamais remis le puits au repos, ce qui aurait certainement permis de constater un arrêt de l'augmentation ou même une diminution du taux de ces substances.

Par conséquent, il nous semble que la seule explication plausible des modifications de la composition chimique de l'eau du puits du Grau-du-Roi se résume dans l'association de deux facteurs: la situation à proximité du bord de la mer du puits artésien et la mise en marche d'un système de pompage que l'on a dû installer pour augmenter le débit de ce dernier.

Mais le seul mélange des deux eaux ne saurait expliquer les détails des modifications chimiques constatées dans les analyses.

Celles-ci, plus complètes à partir du moment où M. le professeur Cristol a pris la direction des recherches sur l'eau du puits artésien du Grau-du-Roi, ont démontré notamment une augmentation progressive du taux des chlorures de calcium.

Or, l'eau de la Méditerranée dont la composition est la suivante, exprimée en milligrammes par litre:

Chlorures de sodium	294
Chlorures de magnésium	25
Sulfates de magnésium	25
Sulfates de calcium	14
Chlorures de potassium	5
Bromures de potassium	5
Carbonates de calcium	1

ne contient pas de chlorure de calcium.

Dans ces conditions, l'apparition de ce sel dans l'eau du puits ne peut s'expliquer que d'une seule façon. L'eau de mer, avant de pénétrer dans le puits, traverse des roches et sables calcaires profondes où elle se charge de calcium.

Le calcium des carbonates et des silicates des roches calcaires se substitue par phénomène de permutation au sodium du sel marin pour constituer le chlorure de calcium dont on a constaté l'existence dans l'eau du puits.

CHAPITRE III

Amélioration artificielle de la qualité d'eau

Lorsque l'eau captée ne possède pas exactement les qualités que l'on désire, il faut chercher à l'améliorer. Divers procédés sont en usage suivant qu'il y a lieu d'éliminer des matières en solution ou de débarrasser l'eau des microorganismes et des matières en suspension qu'elle renferme.

Deux procédés retiendront notre attention.

1) *Procédé à la chaux et au carbonate de soude* que l'on emploie pour les eaux riches en carbonates de chaux et de magnésie. Le mélange chaux-carbonate de soude précipite d'abord les bicarbonates solubles de calcium et de magnésium en les transformant en carbonates insolubles. De même, le gaz carbonique en solution est entièrement éliminé sous forme de carbonate de calcium. Ensuite il transforme les sulfates et chlorures de calcium et de magnésium en sulfates et chlorures de sodium; l'ion calcium étant encore précipité sous forme de carbonate de calcium.

2) *Méthode à la permutite*, qui consiste à provoquer un échange de bases entre les sels dissous dans l'eau et une substance que l'on y introduit. L'eau passe par un lit adoucissant dans un cylindre fermé. La matière adoucissante peut être préparée artificiellement et est connue sous le nom de permutite. Ce sont en réalité des zéolites.

M. le professeur Cristol a expérimenté au laboratoire sur un échantillon de l'eau du puits artésien du Grau-du-Roi, en la soumettant au traitement par la chaux et le bicarbonate de soude d'une part, par la permutite de l'autre.

Les résultats étaient concluants: le traitement à la permutite a diminué le taux du calcium (en CaO) de 460 à 56 milligrammes par litre, le taux de la magnésie (en MgO) de 81 à 39,6 milligrammes par litre, avec un taux de chlore (en Cl) constant et une augmentation inversement proportionnelle du taux de sodium (en Na).

AVANTAGES ET INCONVENIENTS THEORIQUES DE L'UN ET DE L'AUTRE PROCÉDE

1) PROCÉDÉ A LA CHAUX-CARBONATE DE SOUDE

a) *Avantages*: La composition de l'eau étant connue, on peut régler la quantité de chaux et de carbonate de soude nécessaire à une épuration totale. En outre, le résidu sec de l'eau sera diminué.

b) *Inconvénients*: Ceux-ci paraissent énormes si l'on considère qu'il s'agit à la fois d'une eau d'alimentation et d'une eau destinée à être consommée par des malades, des adultes ou plus souvent des enfants atteints de tuberculose osseuse ou ganglionnaire. En effet, le traitement que nous envisageons ici, ne se borne pas à enlever à l'eau ses ions de calcium et de magnésium, mais encore bouleverse profondément sa composition chimique et physico-chimique. Après une épuration complète, l'eau livrée à l'alimentation sera une

solution pure de chlorure de sodium et de sulfate de sodium. Tout son gaz carbonique sera éliminé et on devra s'en remettre au pompage et à l'aération dans les réservoirs pour que l'eau en récupère une partie en solution.

2) PROCÉDÉ A LA PERMUTITE

a) *Avantages*: Grâce aux réactions qu'il emploie, ce procédé n'est pas brutal et ne change en rien la composition initiale de l'eau quant à la distribution physico-chimique des anions et cations. On aurait une eau salée, légèrement sulfatée et bicarbonatée sodique, aérée et donc bien plus agréable à boire que l'eau originelle.

b) *Inconvénients*: Un seul inconvénient est à signaler, c'est la présence de fer en grande quantité dans l'eau non deferrisée et non filtrée. Il est évident que dans le cas où il persisterait du fer en quantité notable dans l'eau à permuter, les grains de permutite seraient vite encrassés et ne pourraient plus servir. Mais on peut pallier à cet inconvénient en pratiquant une coagulation préalable des sels de fer ou autres par le sulfate d'alumine et la filtration subséquente.

INCONVÉNIENTE PRATIQUES D'ORDRE HYGIÉNIQUE

1) *Procédé à la chaux*: En cas de mauvais fonctionnement ou de changement brusque de la composition de l'eau toujours possible, on s'expose à livrer à la consommation une eau contenant en solution une quantité considérable de carbonate de soude (lessive de soude).

2) *Procédé à la permutite*: Le seul inconvénient à envisager réside en la non régénération de la permu-

tite et à la boisson d'une eau non épurée et identique à l'eau actuelle. (Il est bien évident qu'il faut avoir toute garantie pour la durée normale de la permutite).

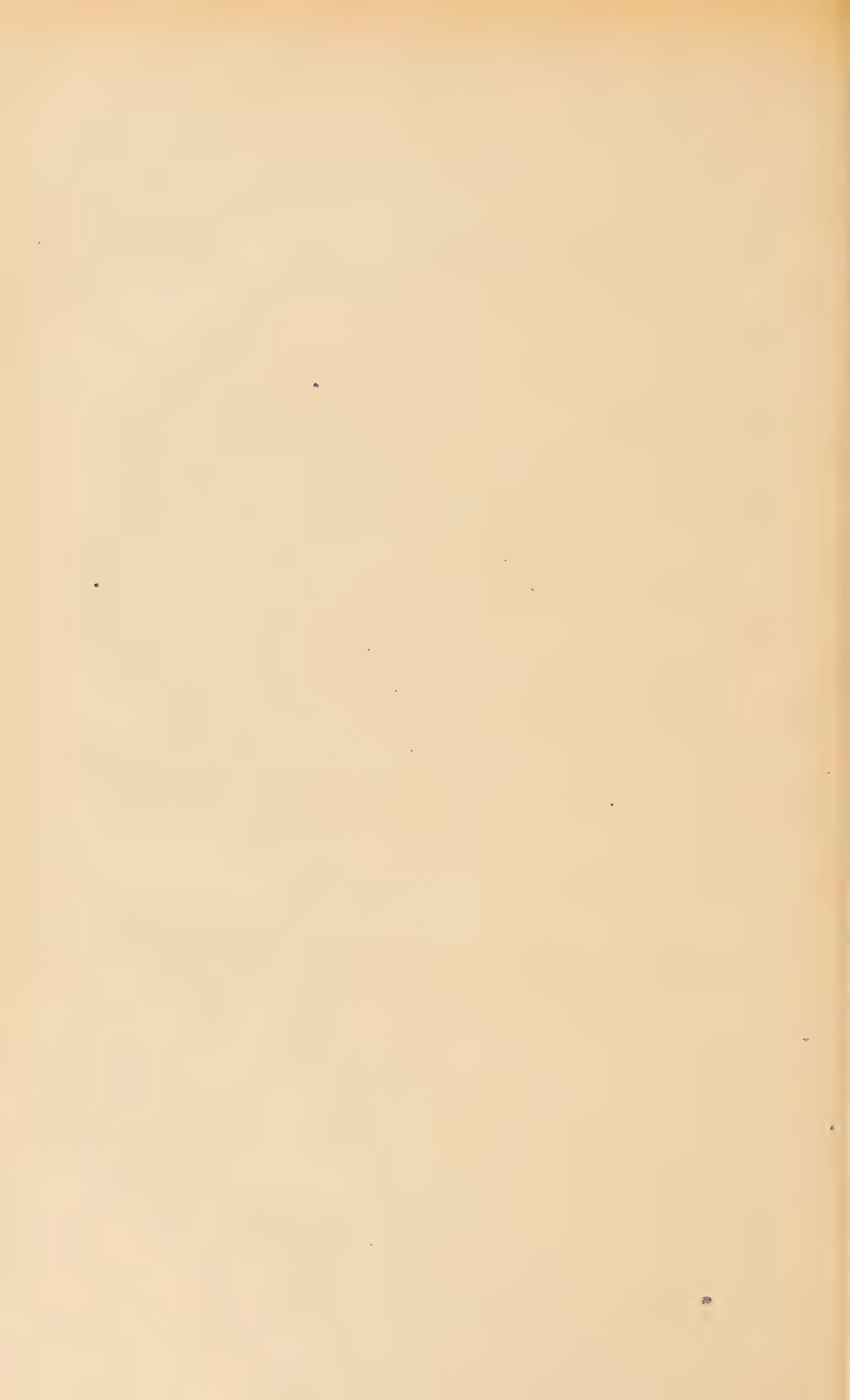
*
停頓

De ces deux procédés c'est la méthode à la permutite qui est le seul procédé hygiéniquement recommandable; néanmoins aucune de ces deux méthodes n'a été employée au sanatorium du Grau-du-Roi à cause du coût élevé de l'installation et surtout de l'entretien.

La solution adoptée par l'administration du sanatorium fut la suivante: On a installé une canalisation amenant l'eau de la ville du Grau-du-Roi au sanatorium, longue de 2 kilomètres, mais comme le débit de celle-ci était insuffisant pour les besoins de la population du sanatorium, on l'a mélangée à une proportion de 50 pour 100, à l'eau du puits artésien.

Ainsi on corrige en partie les inconvénients de cette eau et on obtient une eau de valeur médiocre, mais pas nuisible.

Néanmoins, il nous semble que cette solution n'est pas définitive, si l'on tient compte du fait que le taux des sels minéraux du puits artésien continue toujours à augmenter et, à un moment donné, malgré le mélange, l'eau pourrait devenir impropre à la consommation.



CONCLUSIONS

1) L'histoire du puits artésien que nous rapportons démontre que l'on se trouve en présence d'une évolution biologique d'une eau destinée à l'alimentation. Cette évolution consiste en une minéralisation progressive de cette eau, notamment en ce qui concerne le taux des chlorures alcalino-terreux.

2) Elle a pour cause l'aspiration, dans le puits, de l'eau de mer qui, avant de se mélanger à l'eau de la nappe artésienne, se charge de calcium après un passage à travers des roches et sables calcaires.

3) Cette eau étant impropre à l'usage alimentaire et même industriel ne peut être utilisée qu'après épuration.

BIBLIOGRAPHIE

- D'ANDRIMONT (R.). — La Science hydrologique, *R.U.M.*, 1906.
- BROWN (S. J.). — Relation of sea water to ground water along coasts. *The American Journal of Sciences*, 5^e série, vol. IV, col. 1922.
- DELACOURT (J.). — Les eaux artésiennes du bassin de Paris, de la Basse et de la Moyenne Belgique. — *Bull. Soc. Belg. Géologie*, t. XLVI, Bruxelles, 1936.
- Même titre. *Ibidem*, t. XLVII, Bruxelles 1938.
- Ecole d'Application du Service de Santé Militaire, Val-de-Grâce. — Cours d'hygiène et de prophylaxie. *Libr. Malaine*, Paris, 1937.
- FOURMARIER (P.). — Hydrogéologie. *Edit. Masson & Cie*, 1939.
- HERZBERG. — Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder. *Journ. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung, Jahr*, 14, Munich, 1901.
- IMBEAUX (E.). — Essai d'hydrologie. *Edit. Dunod*, Paris, 1930.
- Qualité de l'eau et moyens de correction. *Edit. Dunod*, Paris, 1935.
- THRESH (J.-C.), BEALE (J.-F.), SUCKLING (E.-V.). — The examination of water supplies. *J. A. Churchill*, London.
- VIGNON (L.) et MEUNIER. — Analyse de l'eau pour épuration chimique. *C. R.* 1899, 128, 683-686.
-

SERMENT

En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes chers condisciples, et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Etre suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

En ma qualité de Censeur de tour,
j'ai lu la Thèse ayant pour titre:

**Evolution biologique
d'une eau d'alimentation**

par M. GERSON (Rudi)

Je pense que la Faculté peut en
permettre l'impression.

Montpellier, le 3 avril 1943.

Le Professeur,
CRISTOL.

Vu:
Montpellier, le 5 avril 1943.

Le Doyen:
G. GIRAUD.

Vu et permis d'imprimer:
Montpellier, le 5 avril 1943.

Le Recteur:
J. SARRAILH.

La Faculté de médecine de Montpellier déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leur auteur; qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

